

## 適応ノッチフィルタを用いた小型RFモーションセンサ信号からの心拍数推定に関する研究

著者	戸塚 健介
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	204-205
発行年	2017-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00121433">http://hdl.handle.net/10097/00121433</a>

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

# 適応ノッチフィルタを用いた 小型 RF モーションセンサ信号からの心拍数推定に関する研究

戸塚 健介

指導教員：杉田 典大， 研究指導教員：八巻 俊輔

## Estimation of heart rate from a compact radiofrequency motion sensor signal using bandpass filter and adaptive notch filter

Kensuke TOZUKA

Supervisor: Norihiro SUGITA, Research Advisor: Shunsuke YAMAKI

Two algorithms are proposed for estimating a heart rate from a compact radiofrequency motion sensor (RF) signal using variable filters. The signal contains not only a heart-beat signal but also a respiration signal, body motion signal, and so on. In order to detect the heart rate signal, a fourth-order Butterworth bandpass filter is used. The first proposed method uses the power spectral density (PSD) of the output signal. The output signal has a PSD peak. It is expected that the heart rate is the frequency corresponding to the PSD peak. The estimated heart rate is used in building the bandpass filter for the next segment. The second proposed method uses an adaptive notch filter. The notch filter attenuates the specific frequency component of an input signal. The attenuated frequency is named the notch frequency. The notch frequency variability corresponds to the heart rate variability. The estimated heart rate is used in making the passband of the bandpass filter in the next segment and initial notch frequency of the adaptive notch filter. The first method can estimate the heart rate with good accuracy. The second method can estimate the heart rate with good accuracy by adjusting parameters.

### 1. はじめに

心拍数推定において小型 RF モーションセンサは、携帯性に優れるため継続的な計測が可能であることや無意識下で計測が可能であることといった利点がある。文献 1)では、小型 RF モーションセンサから得られた信号の周期性を利用し心拍数推定を行っている。具体的には、取得信号全体から1つのバンドパスフィルタを作成し、そのバンドパスフィルタに取得信号を入力し、出力信号の極小値間隔から心拍数を推定している。しかし、この方法では、変化する波形に対して単一のフィルタを掛けることが適切であるのかという疑問や、信号が周期性を失った場合の推定精度の低下といった問題点がある。

本論文では、取得信号を短時間ごとに処理し、逐次フィルタ係数を更新することで、波形の変化に追従でき、かつ周期性の乱れに耐えうる心拍数推定方法を 2 つ提案する。以下では、短時間の信号全体をセグメントと表記する。

### 2. 心拍数推定方法

本研究では、小型 RF モーションセンサ信号から心拍数を推定する方法を 2 つ提案する。いずれの方法においても、小型 RF モーションセンサから得られる信号は変調されているため、ヒルベルト

変換を利用し復調を行う（復調後の信号を RF 信号とする）。RF 信号には心拍由来の信号以外の信号も含まれているので、心拍由来の信号を抽出するために、4 次バターワースバンドパスフィルタを用いる。4 次バターワースバンドパスフィルタの帯域および以下に紹介する方法で用いる判定基準やノッチ周波数は、各被験者から取得した信号のうち、最初の 1 分間を用いて決定される。

また、本研究では、3 秒ごとのセグメント（オーバーラップ 2 秒）で心拍推定を行うが、各セグメントで推定した心拍数を利用して、次のセグメントで利用するフィルタ係数を決定する。

#### 2-1 心拍推定方法 1

心拍推定方法 1 では、RF 信号を 4 次バターワースバンドパスフィルタに入力し、その出力信号  $y(t)$  のパワースペクトル密度(PSD)のピーク周波数から心拍数を推定する（図 1）。

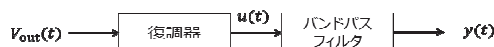


図 1 心拍推定方法 1 のブロック図

この方法では、周波数領域でバンドパスフィルタを掛けることで、バンドパスフィルタによる過渡

応答や遅延の影響を抑えている。

また、RF 信号に心拍由来の信号が含まれるかの判定基準を2通り設けた。1つ目は一般的な心拍数に基づいた基準（以下、一般基準）であり、2つ目は各個人に応じた基準（以下、個人基準）である。判定基準を満たしたセグメントでのみ心拍数推定を行い、それ以外のセグメントでは、1つ前のセグメントの心拍数をそのセグメントの心拍数の推定値とする。

## 2-2 心拍推定方法2

心拍推定方法2では、RF 信号を4次バタワースバンドパスフィルタに入力し、その出力信号を適応ノッチフィルタに入力する（図2）。

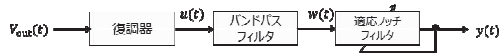


図2 心拍推定方法2のブロック図

この方法では、出力信号  $w(t)$  を適応ノッチフィルタに入力する都合から、時間領域で  $u(t)$  をバンドパスフィルタに入力している。

適応ノッチフィルタでは、出力信号のパワーが最小になるようにノッチ周波数が変化する。したがって、入力信号  $w(t)$  の主成分が心拍由来の信号であれば、ノッチ周波数は心拍の周波数に追従して変化する。なお、本研究で用いた適応ノッチフィルタでは、ステップサイズパラメータと重み係数を任意に調整することができる。

## 3. 実験による推定精度の評価

本研究では、4人の被験者に対し、日にちを変えて2回ずつ静止座位自由呼吸下で7分間の計測を行った。心拍数の真値を心電図波形から求めた RRI とし、各推定方法から求めた心拍数の推定値を BBI とする。RRI と BBI の相関係数および平均二乗誤差 (MAE) を評価指標とした。

### 3-1 心拍推定方法1の推定精度

図3に心拍推定方法1で精度良く心拍推定を行った例を示す。

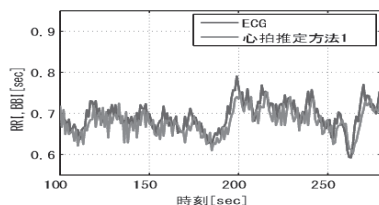


図3 心拍数推定の例

全データ（データ数 8）における相関係数および MAE の平均は、一般基準ではそれぞれ約 0.40 および約 68[ms]であり、個人基準ではそれぞれ約 0.44 および約 56[ms]であった。全データのうち、9 割以上

のセグメントが個人基準を満たしていたデータは4つあった。その4つのデータにおける相関係数および MAE の平均は、それぞれ約 0.60 および約 30[ms]であった。

しかし、一般基準を用いた場合、推定値が真値から大きく外れて推移していく例もあった。

### 3-2 心拍推定方法2の推定精度

全データ（データ数 8）に対し、データごとに手動で相関係数が最大になるようにステップサイズパラメータと重み係数を調整した場合における相関係数および MAE の平均は、それぞれ約 0.45 および約 52[ms]であった。心拍推定方法1の個人基準で9割以上のセグメントに心拍由来の信号があるとされたデータ（データ数 4）のみで心拍推定方法2を用いて心拍数推定を行った場合、相関係数および MAE の平均は、それぞれ約 0.55 および約 34[ms]であった。

### 3-3 考察

個人基準を用いた心拍推定方法1と心拍推定方法2では、心拍推定方法1の方が精度良く推定できている。しかし、個人基準は厳しい基準であるため、大きな心拍数変化に対応できず、心拍由来の信号を含まないと誤判定してしまう可能性が高くなる。一方で、心拍推定方法2ではそのような基準を用いなくても推定値が大きく逸脱することはなかった。

## 4. 結論

本研究では、小型 RF モーションセンサから得られる信号に対し、フィルタ係数を更新させることで心拍変動やセンサ位置の変動に追従でき、逐次的に心拍数を出力する2つの方法を提案した。いずれの方法においても、セグメントごとにフィルタを更新しつつ、波形の周期性が前提となる極小値間隔は利用していない。このため、文献1)の方法で存在していた、単一のフィルタを用いることによって誤って心拍信号を除去してしまうという欠点や、極小値が周期的に出ない場合には推定が困難であるといった問題は解消できていると考えられる。

いずれの方法においても、心拍由来の信号が含まれているセグメントが多いデータでは良好な心拍数推定ができているが、心拍推定方法1については、制限値を決めなくても逸脱を防げる方法を考えなければならず、心拍推定方法2では最適なパラメータを自動的に決定する方法や、バンドパスフィルタによって生じる過渡応答・遅延を補償する方法を開発するといったさらなる改善が必要となっている。

## 文献

- 1) Sugita N, Matsuoka N, Yoshizawa M, Abe M, Homma N, Otake H, Kim J, Ohtaki Y, Estimation of heart rate variability using a compact radiofrequency motion sensor, Medical Engineering and Physics, 37, pp. 1146-1151, 2015.